

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУНУМ
Департман за последипломске студије
Данијелова 32, Београд

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

Одлуком Већа Департмана за последипломске студије број 4-222 од 2026 године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Марка Михајловића, под називом: „ПРЕЦИЗНА СЕГМЕНТАЦИЈА ИНСТАНЦИ НА ВАЗДУШНИМ СНИМЦИМА ВИСОКЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ КОРИШЋЕЊЕМ TILED ИНФЕРЕНЦИЈЕ И ГЛОБАЛНЕ КОНСОЛИДАЦИЈЕ МАСКИ“, о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

о оцени докторске дисертације

1. Основни подаци о кандидату

Кандидат Марко Михајловић рођен је у Пожаревцу, Република Србија. Завршио је гимназију природно-математичког смера у Пожаревцу, а основне и мастер академске студије завршио је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Основне студије завршио је на смеру Рачунарска техника и информатика, док је мастер академске студије завршио у области електротехнике и рачунарства. Мастер рад био је посвећен примени стандарда симетричног криптовања AES у телекомуникацијама.

Кандидат је студент докторских академских студија на Универзитету Сингидунум, Департману за последипломске студије, на студијском програму Интелигентно софтверско инжењерство, број индекса 2023/480218. Његова истраживачка интересовања обухватају машинско учење, рачунарски вид, анализу слика, оптимизацију и примену вештачке интелигенције у сложеним софтверским системима.

Према достављеној документацији, кандидат има више од двадесет година професионалног искуства у ИТ сектору, укључујући развој софтвера, администрацију информационих система и рад на решењима заснованим на савременим методама вештачке интелигенције. Посебно су релевантна искуства у примени конволуционих и трансформерских модела у задацима детекције и сегментације објеката, као и рад са скалабилним софтверским архитектурама и cloud окружењима.

Досадашњи научноистраживачки рад кандидата обухвата сегментацију слика високе резолуције, медицинску сегментацију, оптимизацију модела машинског учења, рачунарски вид, предикцију производње фотонапонских система и обраду природног језика. Наведена искуства представљају непосредну стручну и истраживачку основу за тему докторске дисертације.

1.1. Научни радови кандидата

У литератури саме дисертације наведена су и два рада кандидата који су непосредно тематски повезани са проблематиком сегментације инстанци и обраде слика високе резолуције:

- Mihajlovic, M. and Marjanovic, M. (2025), "Enhancing Instance Segmentation in High-Resolution Images Using Slicing-Aided Hyper Inference and Spatial Mask

Merging Optimized via R-Tree Indexing”, Mathematics, 13(19), 3079, DOI: 10.3390/math13193079.

- Mihajlovic, M. and Marjanovic, M. (2025), “Medical Segmentation of Kidney Whole Slide Images Using Slicing Aided Hyper Inference and Enhanced Syncratic Mask Merging Optimized by Particle Swarm Metaheuristics”, BioMedInformatics, 5(3), 44, DOI: 10.3390/biomedinformatics5030044.

Први рад је директно повезан са централним истраживачким проблемом дисертације – сегментацијом инстанци на сликама високе резолуције, inferencijom над исечцима и глобалним спајањем маски. Други рад показује применљивост сродног методолошког приступа у другом домену високорезолуционе сегментације, што додатно потврђује континуитет научног интересовања кандидата.

2. Основни подаци о докторској дисертацији

Докторска дисертација кандидата Марка Михајловића носи назив „Прецизна сегментација инстанци на ваздушним снимцима високе резолуције коришћењем tiled inferencije и глобалне консолидације маски“. Израђена је на Универзитету Сингидунум, на студијском програму Интелигентно софтверско инжењерство, под менторством проф. др Марине Марјановић.

Достављена електронска верзија дисертације садржи 136 страница PDF документа. Основни текст организован је у шест тематских поглавља, након којих следе списак слика, списак табела, списак акронима, списак енглеских термина и литература. Дисертација садржи 31 слику, 43 табеле и 55 библиографских референци. Оваква структура омогућава јасан прелаз од теоријског оквира и методологије, преко експерименталне евалуације, до дискусије и закључака.

Тема припада области техничко-технолошких наука, ужој научној области електротехнике и рачунарства, са јасним ослоном на рачунарска вид, дубоко учење, даљинску детекцију, оптимизацију и интелигентно софтверско инжењерство.

Провера оригиналности дисертације: _____ (унети назив система, датум провере и проценат сличности из званичног извештаја).

2.1. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања представља развој и експериментална евалуација методолошког оквира за прецизну сегментацију инстанци на ваздушним снимцима високе резолуције, са посебним фокусом на проблеме који настају када се велике слике деле на мање плочице ради локалне inferencije. Такав приступ омогућава очување ситних просторних детаља и смањење меморијских захтева, али истовремено уводи фрагментацију, редундантне локалне предикције и вишеструка посматрања исте физичке инстанце.

Основни циљ дисертације је формирање глобално конзистентног скупа инстанци на нивоу оригиналне слике, без губитка локалних детаља који су неопходни за детекцију малих и густо распоређених објеката. У том циљу истражују се tiled inferencija са контролисаним преклапањем плочица, реконструкција локалних предикција у јединствени глобални координатни систем, глобална консолидација маски и селективни опоравак предикција ниже поузданости.

Посебни циљеви обухватају развој алгоритма за просторно и тополошки контролисано спајање маски, дефинисање специјализованих метрика за мерење грешака на границама плочица, анализу утицаја преклапања плочица на фрагментацију и редундансу, као и проверу да ли се део валидних low-confidence

предикција може поуздано вратити у завршни pipeline без неконтролисаног раста false-positive случајева.

2.2. Истраживачки оквир и хипотезе

Општа хипотеза, формулисана у фази пријаве теме, полази од претпоставке да се прецизна сегментација инстанци на ваздушним снимцима високе резолуције може унапредити рачунски одрживим методолошким оквиром заснованим на tiled инференцији и глобално конзистентној консолидацији маски.

У реализованом истраживању ова хипотеза је операционализована кроз више проверљивих питања: да ли глобална консолидација може смањити редундансу без пада одзива; да ли коришћење геометрије и топологије плочица може додатно смањити фрагментацију у односу на референтни SMM; да ли предикције ниже поузданости садрже довољно додатног просторног и cross-model сигнала за селективни опоравак; и у којој мери се предложени поступак може пренети на други скуп података и другу архитектуру сегментационог модела.

2.3. Методологија истраживања

Истраживање комбинује аналитичко-синтетички, компаративни и експериментални приступ. Теоријски део обухвата анализу конволуционих и transformerskih архитектура, приступа сегментацији инстанци, NMS/NMM поступака, Spatial Mask Merging приступа, селективне класификације и процене поузданости.

Експериментална евалуација спроведена је пре свега на јавно доступном iSAID скупу података, који садржи ваздушне снимке са великим бројем малих и густо распоређених инстанци. Као додатна провера преносивости коришћен је BONAI скуп. У експериментима су коришћене две различите архитектуре за сегментацију инстанци – RF-DETR XLarge и YOLO26 Large.

Основни pipeline користи плочице величине 512×512 пиксела. Главна конфигурација користи 8% преклапања суседних плочица. Локалне предикције се након inferencije пресликавају у глобални координатни систем оригиналне слике, након чега следи глобална консолидација.

Централни алгоритам дисертације је Boundary-Constrained Spatial Mask Merging (BC-SMM). Он ограничава кандидатне везе коришћењем порекла предикција, топологије суседних плочица, физичких контаката између њих, контактних коридора и локалне валидације маргиналних веза. На тај начин се глобално груписање не заснива само на локалној близини или преклапању маски, већ и на структури tiled простора.

Други важан елемент је селективни опоравак предикција ниже поузданости. Кандидати испод основног confidence прага не прихватају се аутоматски, већ се додатно процењују коришћењем локално-геометријских, overlap/seam и cross-model карактеристика. За секундарну класификацију коришћен је XGBoost модел, при чему су развојни и коначни evaluacioni скупови раздвојени како би се смањио ризик од пристрасне процене.

Евалуација обухвата стандардне COCO показатеље (AP, AP50, AP75, AR), fixed-IoU мере (precision, recall, F1, IoU и Dice), као и предложене tile-boundary метрике: Tile-Boundary Miss Rate (TBMР), Tile-Boundary Fragmentation Rate (TBFR), Tile-Boundary Excess Fragmentation (TBEF), Tile-Boundary Duplicate Rate (TBDR), Reconstruction IoU (RIoU) и Merge Rate (MR). Робусност разлика додатно је проверена упареном bootstrap анализом са 1000 понављања.

2.4. Кратак приказ садржаја докторске дисертације

Поглавље 1 уводи истраживачки проблем, образлаже значај високорезолуционе сегментације и дефинише ограничења која tiled инференција уводи у виду фрагментације, дуплих предикција и губитка глобалног идентитета инстанце.

Поглавље 2 даје теоријски оквир и преглед литературе. Разматрају се CNN и transformer архитектуре, receptive field, DETR парадигма, NMS и NMM приступи, mask-level консолидација, Spatial Mask Merging, calibration и selective classification, као и постојећа ограничења метода за обраду слика високих резолуција.

Поглавље 3 представља методолошки оквир. Описани су скупови iSAID и BONAI, коришћени модели, декомпозиција слике на плочице, глобална реконструкција локалних предикција, rescue грана, BC-SMM алгоритама, функција фузије маске, предложене tile-boundary метрике и експерименталне конфигурације.

Поглавље 4 садржи експерименталне резултате и детаљну анализу. Испитује се утицај overlap-а, референтног SMM поступка и BC-SMM-а, понашање на границама плочица, селективни опоравак предикција, резултати по класама и величини објеката, квалитативни примери, рачунске перформансе и аблационе анализе.

Поглавље 5 даје дискусију главних налаза, разматра улогу overlap-а и глобалне консолидације, просторно индексирање, границе додатног постпроцесирања, преносивост, практичну применљивост, ограничења и правце будућег развоја.

Поглавље 6 сумира кључне резултате, научне доприносе и ограничења предложеног приступа и формулише завршне закључке дисертације.

2.5. Постигнути резултати и научни допринос докторске дисертације

Најзначајнији алгоритамаки резултат представља развој BC-SMM поступка за глобалну консолидацију маске. У директном поређењу са референтним SMM-ом, над истим скупом од 115.140 локалних предикција и истом tiled геометријом са 8% overlap-а, BC-SMM смањује број излазних инстанци са 82.919 на 82.166, уз истовремено повећање броја тачно позитивних детекција са 61.249 на 61.304 и смањење false-positive предикција са 21.670 на 20.862.

Precision расте са 0,7387 на 0,7461, recall остаје практично стабилан и благо расте са 0,5251 на 0,5255, а F1 са 0,6138 на 0,6167. COCO AP расте са 0,3123 на 0,3219, AP50 са 0,4950 на 0,5078, а AP75 са 0,3329 на 0,3447. Резултати показују да побољшање није постигнуто агресивним over-merging-ом, већ прецизнијим повезивањем локалних предикција које припадају истој физичкој инстанци.

Посебно значајан резултат је редукција кандидатног простора за глобално груписање. Број кандидатних парова смањен је са 626.437 на 286.745, односно за приближно 54,2%, док је број компатибилних веза остао готово непромењен (43.193 у SMM-у наспрам 43.029 у BC-SMM-у). Истовремено је медијана времена формирања група по слици смањена са 0,635 s на 0,483 s.

Дисертација уводи и специјализовани tile-boundary evaluacioni оквир који раздваја типове грешака карактеристичне за tiled инференцију. При 8% overlap-а, TBFR је смањен са 0,08661 код SMM-а на 0,03562 код BC-SMM-а, док је TBEP смањен са 0,11360 на 0,05288. Упарена bootstrap анализа показује да су 95% интервали за ове разлике у потпуности у домену побољшања. Истовремено, за MR није утврђен пораст који би указивао на статистички детектовљиво повећање prekomernog спајања.

Трећи значајан допринос односи се на селективни опоравак low-confidence предикција. Проширивањем основног confidence сигнала локално-геометријским, overlap/seam и cross-model карактеристикама PR-AUC је повећан са приближно 0,23 на 0,45. У замрзнутој финалној евалуацији на званичном iSAID validation скупу прихваћено је само 159 од 24.200 кандидата, што представља изразито селективан режим.

Након реинтеграције rescue гране добијено је 124 додатних true-positive предикција уз 35 додатних false-positive предикција, па marginal precision додатних предикција износи 77,99%. Recall расте са 52,5547% на 52,6610%, а F1 са 61,6697% на 61,7451%, док укупан precision остаје практично непромењен.

Додатна евалуација на BONAI скупу са YOLO26 Large моделом показује да се исти основни методолошки принцип може применити на други скуп података и другу сегментациону архитектуру. Кандидат коректно наглашава да ово не представља доказ универзалне генерализације, већ почетну експерименталну потврду преносивости уз различите компромисе између precision, recall и геометријске прецизности.

Научни доприноси дисертације могу се систематизовати на следећи начин:

- развој BC-SMM алгорита који користи геометрију и топологију tiled простора за ефикаснију и поузданију глобалну консолидацију локалних маски;
- формулисање специјализованих tile-boundary метрика за одвојено мерење пропуштања, fragmentације, вишка fragmenata, duplikata, kvaliteta rekonstrukcije i prekomernog spajanja;
- развој селективног rescue механизма који користи просторне, геометријске и cross-model карактеристике за контролисано враћање дела валидних предикција испод основног confidence прага;
- систематска експериментална евалуација и аблациона анализа која раздваја ефекат overlap-a, глобалне консолидације и селективног опоравка;
- провера рачунске одрживости и почетна провера преносивости предложеног оквира на други скуп података и другу архитектуру сегментационог модела.

Практична вредност резултата огледа се у могућности примене код обраде великих ваздушних и сателитских снимака, мапирања урбаних сцена, праћења промена, анализе инфраструктуре и других система у којима је неопходно очувати локалне детаље без губитка глобалног идентитета објеката.

3. Оцена докторске дисертације

Комисија оцењује да је докторска дисертација методолошки добро постављена, тематски актуелна и научно релевантна. Истраживачки проблем је јасно дефинисан, а предложена решења су проверена кроз више комплементарних експеримената, стандардне и специјализоване метрике, статистичку анализу и аблационе студије.

Посебна вредност рада је у томе што не третира tiled инференцију само као технички поступак дељења велике слике, већ као извор додатне просторне информације. Предложени BC-SMM користи ту информацију за контролисано глобално груписање, док tile-boundary метрике омогућавају прецизније тумачење механизма побољшања који стандардне агрегатне COCO метрике не могу у потпуности да прикажу.

Експериментални резултати су интерпретирани опрезно и у складу са ограничењима. У дискусији се јасно раздвајају доказана побољшања од налаза који представљају почетну индикацију преносивости. Такође су анализирани негативни или неутрални резултати додатних експеримената, чиме се избегава селективно приказивање само позитивних налаза.

Комисија сматра да рад садржи оригиналан научни и методолошки допринос у области рачунарског вида и интелигентних софтверских система, посебно у сегменту глобалне реконструкције инстанци на сликама високе резолуције. Предложени алгоритам, evaluacioni оквир и rescue механизам представљају заокружен систем чији су појединачни доприноси експериментално раздвојени и квантитативно анализирани.

4. Мишљење и предлог Комисије о докторској дисертацији

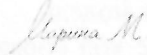
На основу увида у целокупну структуру докторске дисертације, теоријски и методолошки оквир, обим спроведених експеримената, добијене резултате и њихову критичку интерпретацију, Комисија је мишљења да докторска дисертација кандидата Марка Михајловића, под називом „Прецизна сегментација инстанци на ваздушним снимцима високе резолуције коришћењем tiled инференције и глобалне консолидације маски“, представља оригиналан и научно релевантан допринос у области интелигентног софтверског инжењерства, рачунарског вида и машинског учења.

Кандидат је током израде дисертације показао способност за самосталан, систематичан и методолошки утемељен научноистраживачки рад. Резултати су представљени јасно, подржани квантитативном и статистичком анализом и повезани са релевантним научним публикацијама кандидата.

Имајући у виду наведено, Комисија једногласно предлаже Већу Департамента за последипломске студије и Сенату Универзитета Сингидунум да прихвати докторску дисертацију кандидата Марка Михајловића под наведеним називом и да одобри њену јавну одбрану, у складу са важећим актима Универзитета.

У Београду, 15.10.2026. године

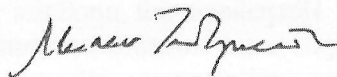
Чланови Комисије:



проф. др Марина Марјановић – ментор, Универзитет Сингидунум



проф. др Марко Танасковић – члан Комисије, Универзитет Сингидунум



доц. др Милан Чабаркапа – члан Комисије, Факултет инжењерских наука,
Универзитет у Крагујевцу